



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 34 232 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
B 02 C 19/18

⑳ Aktenzeichen: 195 34 232.1
㉔ Anmeldetag: 15. 9. 95
④③ Offenlegungstag: 20. 3. 97

DE 195 34 232 A 1

⑦① Anmelder:
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133
Karlsruhe, DE

⑦② Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
US 32 07 447
SU 17 19 075 A1
SU 15 42 619 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Zerkleinerung und Zertrümmerung von aus nichtmetallischen oder teilweise metallischen Bestandteilen konglomerierten Festkörpern und zur Zerkleinerung homogener nichtmetallischer Festkörper

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zertrümmerung und Zerkleinerung von Festkörpern, die allenfalls teilweise metallisch sind wie z. B. Stahlbetonbrocken. Im Gegensatz zum bekannten elektrohydraulischen Verfahren, bei dem die Zerkleinerung durch Schockwelleneinwirkung von außen auf den Festkörper erfolgt, wird durch das neue Verfahren der Festkörper durch Schockwellenerzeugung in ihm explodiert. Dies ist erst unter Einhaltung verschiedener Parametersätze hinsichtlich Durchbruchspannungsamplitude, einer Mindestzeit für das Erreichen dieser Amplitude und den höchstmöglichen Energieeintrag in den Festkörper gegeben. Mit diesem Verfahren wird mit minimalem Energieaufwand dasselbe erreicht wie mit dem sehr viel mehr energieaufwendigeren, rein elektrohydraulischen Verfahren.

DE 195 34 232 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zerkleinerung und Zertrümmerung von aus nichtmetallischen oder teilweise metallischen Bestandteilen konglomerierten Festkörpern und zur Zerkleinerung homogener nichtmetallischer Festkörper durch schnelle Entladung eines elektrischen Energiespeichers mit hoher Spannungsamplitude. Darüber hinaus betrifft die Erfindung Verwendungen des Verfahrens, um verschiedenartige Substanzen sortenselektiert aufzuschlüsseln. Hierzu sind die Festkörpermaterialien in eine Flüssigkeit getaucht, die in einem geeigneten Gefäß gefaßt ist. Das Elektrodensystem aus Hochspannungselektroden und geerdeten Elektroden des elektrischen Entladekreises ragt in das Gemisch aus Flüssigkeit und Festkörper. Die Entladungen erfolgen einzeln oder in periodischen Zeitabständen, letztere sind in der Höhe ihrer Folgefrequenz durch die Dimensionierung der Bauteile der Anlage beschränkt, im wesentlichen durch die Aufladekonstante des Energiespeichers und notwendige Relaxationsprozesse wie Abbau der Blasenbildung in der Prozeßflüssigkeit.

Zweck solcher Verfahren ist, die oben erwähnten konglomerierten Festkörper wie Beton, Stahlbeton, Metallkeramiken oder sonstige zusammengesetzte, spröde Materialgemische oder spröde nichtmetallische Körper mit homogener Zusammensetzung wie Granit, Glas und Erze in die Bestandteile zu zerlegen oder einfach bis zu einer für einen Weiterverwendungsprozeß brauchbaren Korngröße zu zerkleinern.

Fragmentierung von Festkörpern durch Schockwellen ist an sich bekannt und wird oft unter dem Begriff elektrohydraulisches Zerkleinern oder Zertrümmern (electrohydraulic comminution or crushing) von festen oder spröden Körpern erwähnt. Überwiegend handelt es sich dabei um Pulsentladungen von Kondensatorbänken in Wasser mittels eines darin eingetauchten Elektrodensystems. Die bei der Entladung entstehende Schockwelle wird entweder durch ein fokussierendes Element (Parabolspiegel bei einem Lithotripter) oder ohne solche Mittel auf das zu zertrümmernde und zu zerkleinernde Material gelenkt. Die Intensitätsabnahme der Schockwelle mit der Entfernung und die Reflexion und Transmission an Grenzflächen ist dabei begrenzende Physik.

Ein Verfahren zum Zertrümmern von Erzen mit explosiver Energie, die in einer Flüssigkeit freigegeben wird und eine Apparatur zur Durchführung des Verfahrens ist in der US-PS 3,207,447 angegeben. Dabei wird Erz mit der Flüssigkeit zu einem Schlamm vermengt und in den Reaktionskessel gefüllt. Dort werden dann periodisch Explosionen erzeugt, die die Erzpartikel über die so erzeugte Schockwelle zertrümmern, so daß die nutzbaren von den nutzlosen Bestandteilen getrennt werden können. Die Explosionen werden durch die Entladung eines elektrischen Energiespeichers erreicht. Hierzu ragen Elektroden in den im Gefäß gefaßten Schlamm.

Wesentliche Arbeiten auf diesem Gebiet der Materialzertrümmerung wurden von sowjetischen Entwicklungsgruppen geleistet. In der SU 1542619 A1 wird eine Anlage zur Steuerung einer elektrohydraulischen Mühle offenbart. Auf das zu zerkleinernde Material wird durch Schockwellen von außen (elektrohydraulisch) eingewirkt. Eine Steuerung führt die Anlage optimal und hält den guten Wirkungsgrad in der Zertrümmerungseinrichtung aufrecht.

In der SU 1719075 A1 wird ein Gefäß vorgestellt, in dem Materialien durch Fokussieren der Schockwelle mit höherem Wirkungsgrad zertrümmert werden können. Hierzu ist das Gefäß an seiner Öffnung mit einer Einrichtung abgedeckt, die die von der elektrischen Entladung zwischen Anode und Kathode ausgehenden Schockwelle reflektiert und auf den am Gefäßboden liegenden Materialhaufen fokussiert. Dieser Deckel ist elastisch mit der Gefäßwand verbunden, um die mechanische Belastung durch die Schockwelle abzufedern.

In den zitierten Druckschriften ist das zugrunde liegende Prinzip der Materialzertrümmerung die Erzeugung einer Schockwelle durch elektrische Entladung in der Flüssigkeit. Die so erzeugte Schockwelle in dem Reaktionsgefäß wirkt von außen auf die zu zertrümmernden Gegenstände ein (Elektrohydraulik). Hierzu ist ein hoher Energieaufwand notwendig, denn die in die Flüssigkeit getauchten harten oder spröden Materialien müssen über Druckeinwirkung von außen her, vergleichbar Hammerschlägen, aufgebrochen werden. Eine Bilanz über den Energieeintrag zeigt alleine bei physikalischer Betrachtung, daß über die Schockwelleneinwirkung in den Festkörper in der Flüssigkeit nicht beliebig viel Energie eingebracht werden kann, so daß das Zerstörungsverfahren auf dieser Basis nur über höhere Entladeströme und damit größere Energiespeicher verbessert werden kann.

Die Intensität der Schockwelle nimmt bekanntermaßen mit $1/r^2$ vom Entstehungsort aus ab. An der Grenzoberfläche Flüssigkeit/Festkörper wird die ankommende Schockwelle aufgeteilt, und zwar werden dort bei Wasser als Flüssigkeit etwa $2/3$ reflektiert und etwa $1/3$ dringt in den zu zerstörenden Körper, Granit z. B., ein. Der Energieeintrag in den Festkörper über elektrohydraulische Einwirkung ist also anteilmäßig klein.

Die Erhöhung der Speicherenergie über eine vergrößerte Kondensatorbatterie bedeutet höhere Entladeströme, die eine stärkere Belastung der Bauteile über Strombelastung (an schaltenden Bauteilen) und Schockwelle (Erschütterung an besonders exponierten Bauteilen im Reaktionsgefäß) mit sich bringt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das elektrohydraulische Zertrümmerungsverfahren mittels Schockwellen so zu ergänzen oder zu ersetzen, daß mit einem erheblich höheren Energieeintrag in den zu zerstörenden Körper eine Zertrümmerung mit weniger Energieaufwand erreicht wird.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Verfahrensschritte des Anspruchs 1 unter Einhaltung der angegebenen Parameterbereiche gelöst. Der apparative Aufbau kann dabei ein für das jeweilige Material geeigneter sein, der sich neben der üblichen Materialunterbringung in der Flüssigkeit auch an der leichten Materialabeschickung und raschen Materialentnahme orientiert.

Der wesentliche Gedanke, der einen entscheidenden Fortschritt brachte, entsprang aus Erkenntnissen bei Experimenten und den dabei erhaltenen Messungen, die anhand eines Modells und daran begründeter Spannungs-Zeit-Verläufen erläutert werden sollen. In der Fig. 1a wird hierzu das elektrische Modell gezeigt, das der Deutung der Vorgänge bei der Entladung im Reaktionsgefäß zugrunde liegt.

Legt man an eine Flüssigkeit und einen Festkörper einen Spannungsimpuls mit sehr kleiner (steiler) Anstiegszeit — der Elektrodenabstand sei gleich —, beob-

achtet man nach einem zeitlichen Verzug τ einen elektrischen Durchschlag. Der zeitliche Verzug τ ist um so kleiner, je höher die angelegte Spannung ist. Fig. 2 zeigt solche Verzugscurven für Gestein, Wasser, Transformatoröl und Luft. Alle Kurven zeigen grundsätzlich mit zunehmender Verzugszeit τ tendenziell ein nichtlineares Absinken der benötigten Durchschlagsspannung, jedoch ist der Abfall zeitlich nicht gleich und das Spannungsniveau teilweise deutlich verschieden, also materialspezifisch. So zeichnet sich Luft durch einen Verlauf der Spannungs-Zeit-Kurve aus, der durchweg sehr niedrige Spannungswerte aufweist. Transformatoröl dagegen hat durchweg ein sehr hohes Spannungsniveau.

An zwei Kurven in Fig. 2 ist zu erkennen, daß sich die Durchbruchspannungskurve von einer Festkörperart (Stein) und Flüssigkeit (Wasser) schneiden. Wird die Durchbruchspannung in dieser Schnittpunktzeit, 500 nsec für dieses Beispiel, erreicht, kann der Durchbruch sowohl in Stein als auch in der Flüssigkeit stattfinden. Steigt die Spannung schneller an als in dieser Schnittpunktzeit, dann ist der Durchbruch in Stein wahrscheinlicher. Steigt die Spannung langsamer an, dann ist der Durchbruch in Wasser wahrscheinlicher. Die Neigung zum Durchbruch ist natürlich um so wahrscheinlicher für das eine oder andere Medium, je deutlicher der Spannungsanstieg diesseits oder jenseits der Verzugszeit τ für den Schnittpunkt ist. Die Verzugszeitangabe τ oder die Zeit τ bis zum Erreichen der Durchbruchspannungsamplitude in Anspruch 1 ist also materialspezifisch. Sie hat sich nur für viele gesteinsartigen Materialien und Erze als zuverlässig herausgestellt. Sie könnte in dem einen oder andern Anwendungsfall bei sich schneidenden Kennlinien von zu zerstörendem Material und Reaktionsflüssigkeit unter Berücksichtigung der Verzugszeit im Schnittpunkt der beiden modifiziert werden.

Das verdeutlicht Fig. 3, bei der entlang beider, sich schneidender Kurven Toleranzbänder um die zugehörige Durchbruchspannungskurve gelegt sind. Der linke Eckpunkt des gemeinsamen Überlappungsbereichs gibt die Verzugszeit τ an, für die sehr sicher zuerst der elektrische Durchbruch im Festkörper (Stein) stattfindet. Eine Entladung im Wasser findet wegen dieses Spannungszusammenbruchs im Gestein nicht statt (siehe Fig. 1a).

Der rechte Eckpunkt des gemeinsamen Überlappungsbereichs gibt den Verzugszeitpunkt an, ab dem sicher der Durchbruch in der Flüssigkeit stattfindet.

Eine Zwischenstellung nimmt die Situation ein, wenn zwischen den Elektroden Wasser und Gestein ist, also der Festkörper in die Flüssigkeit eingetaucht ist (Fig. 1b). Während des Ansteigens der Spannung entstehen im Gestein schon bei geringeren Feldstärken Ladungsträger, die entlang der elektrischen Feldlinien verschoben werden und aufgrund dieser Wegverkürzung zu einer erhöhten Feldstärke im verbliebenen Wasserweg führen. Nach Fig. 2 erreicht die Feldstärke dann lokal die Durchbruchfeldstärke in der Flüssigkeit, so daß die Entladung durch das Gestein und Wasser gleichzeitig verläuft.

Die Vertikale durch den Schnittpunkt beider Kurven (Fig. 4) bei etwa 500 nsec trennt die Bereiche, Zerstörung durch äußerlich einwirkende Schockwelle (Kompressionszerstörung) und Zerstörung, hervorgerufen durch den Stromfluß durch den Festkörper (Explosionszerstörung). Um die Entladung sicher im Gestein zu provozieren, sollte der Spannungsanstieg aufgrund Fig. 3 (Toleranzbänder) wesentlich unterhalb

dieser Zeit $\tau = 500$ nsec erfolgen. Für das in Fig. 4 gezeichnete Beispiel wurde für das sichere Stromflußregime ein Spannungsanstieg bis zur Durchbruchspannung unterhalb der Verzugszeit von 200 nsec gewählt. Würde statt Wasser Luft verwendet werden, erfolgte auf jeden Fall eine Entladung in Luft. Würde statt Wasser eine elektrisch isolierende Flüssigkeit gemäß Anspruch 3 verwendet werden, das könnte z. B. Transformatoröl, ein Alkohol oder sonst eine Flüssigkeit mit hohem elektrischen Isolationsvermögen sein, wäre das Unterschreiten dieser beschränkenden Verzugszeit nicht so problematisch, da dann auf jeden Fall die Entladung durch dem eingetauchten Festkörper ginge.

Eine solche Anlage kann also sehr viel effizienter als im reinen elektrohydraulischen Regime betrieben werden, wenn:

- sich die Feldstärke zwischen den Elektroden in den Grenzen zwischen 10kV/mm und 30kV/mm hält,
- der Spannungsanstieg bis zur Durchbruchspannung innerhalb 200 nsec erfolgt, oder allgemeiner: der Zuverlässigkeit wegen erheblich kleiner als die Verzugszeit im Schnittpunkt des flüssigen und festen Reaktionsmediums im Reaktionsgefäß ist, und
- die Energieeinkopplung entlang des Entladungspfad im Festkörper, bezogen auf diesen Weg, sich in den Schranken zwischen 12 J/mm und 40 J/mm hält.

Der Energieeintrag pro Entladung bestimmt den Wirkungsmechanismus im Festkörper. Der Parameterbereich ist so gewählt, daß im Festkörper längs des Entladungswegs durch Energieeinkopplung ein Zerreißen des Körpers durch die im Innern erzeugte Schockwelle erfolgt, sozusagen ein Explosionszerreißen. Sie kommt folgendermaßen zustande:

Die in sehr kurzer Zeit entlang des Entladungspfad eingekoppelte Wärme wird nicht und kann nicht über Wärmeleitung ausreichend schnell abgeführt, sondern löst über Geschwindigkeitskomponenten der Atome, weggerichtet vom Entladekanal, eine Schockwelle im Festkörper aus. Die Wirkung der Schockwelle wird durch die Überlagerung reflektierter Anteile der Schockwelle an den Grenzflächen des Festkörpers zum flüssigen Medium hin verstärkt, wodurch der Festkörper zusätzlich noch in Fraktionen zerlegt wird.

Der Vorteil einer im Material selbst erzeugten Schockwelle im Vergleich mit einer von außen auf den Körper einwirkenden ist anhand des weiter oben im Eingang erläuterten unvergleichlich höher. Die im Festkörper um den Entladekanal herum erzeugte Schockwelle verliert durch Transmission an der Festkörpergrenzfläche nur etwa 1/3 der Intensität zum flüssigen Prozeßmedium hin, 2/3 werden dort reflektiert und belasten den Körper bei der Wanderung durch ihn weiterhin. Es wird durch dieses Modell verständlich, daß die im Körper erzeugte Schockwelle und die dadurch bewirkte Explosionszerreißen eine sehr viel höhere Belastung für den Körper bedeutet als die Schockwelleneinwirkung von außen in Form einer Kompression auf den Körper.

In einer kleinen Laboranlage wurde die Auswirkung an Gestein in Wasser überprüft. Für die Entladung nur in Wasser, also Schockwelle von außen auf den Körper, wurden mehr als 10kJ/Puls für die Kompressionszerstörung benötigt, für die Entladung im

Festkörper, also Stromfluß durch ihn und damit Explosionszerreißung, wurde das mit 0.6 bis 1 kJ/Puls erreicht. Das ist ein um eine Größenordnung geringerer Energieaufwand.

Durch wiederholte Entladevorgänge können die in der Prozeßflüssigkeit eingetauchten Festkörper sukzessive auf eine vorgegebene Korngröße herunter zerkleinert werden. Bei Glas kann eine Korngröße des zerstörten Guts bis herunter zu 40 µm erreicht werden, ohne die Anstrengungen dafür zu verstärken. Die minimal erreichbare Korngröße mit dieser Methode ist materialspezifisch und kann durch Tests in einer Laboranlage rasch ermittelt werden.

Weitere Verfahrensschritte, die sich in dem einen oder andern Zertrümmerungsvorhaben als vorteilhaft herausstellen, betreffen die Auswahl der Prozeßflüssigkeit, wie sie in den Unteransprüchen 2 und 3 gekennzeichnet sind.

Welche Flüssigkeit für die Zerkleinerung und Zertrümmerung des darin eingetauchten Materials verwendet wird, wird durch vielerlei Gründe festgelegt. Primär wird es die hohe Wirksamkeit der Materialzertrümmerung sein. Wichtig ist, wie kann das Gemisch aus Prozeßflüssigkeit und darin vorhandener Fraktionen weiterbehandelt, getrennt und aufbereitet bzw. entsorgt werden. Anspruch 2 kennzeichnet deshalb als Prozeßflüssigkeit Leitungswasser oder entmineralisiertes Wasser, mit dem die Mindestzeit im Spannungsanstieg aufgrund des Schnittpunkts der Durchschlagkurve von Wasser mit der vom Festkörper unterschritten werden muß. Anspruch 3 dagegen kennzeichnet elektrisch gut isolierende Flüssigkeiten, wie Transformatorenöle, Alkohole Parafine in flüssiger, also erwärmter Form oder flüssige Substanzen, gekühlt oder erwärmt, mit denen auf jeden Fall ein Durchbruch im Festkörper erreicht wird. Allerdings sind zu treffende Vorsichtsmaßnahmen hinsichtlich der Umweltbelastung dabei nicht zu übersehen, und könnten daher eine sehr wirksame Prozeßflüssigkeit durchaus disqualifizieren.

Sind andererseits die zu prozessierenden Festkörper nicht hart oder spröde genug, kann dies durch eine kalte Prozeßflüssigkeit erreicht werden. Flüssiger Stickstoff ist bekannterweise eine solche Flüssigkeit, mit der Versprödung erreicht werden kann.

Grundsätzlich sollte sie chemisch nicht reaktionsfreudig sein. Flüssige Luft oder gar flüssiger Sauerstoff scheidet daher ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen als Prozeßflüssigkeit aus.

Die Prozeßflüssigkeit kann durchaus eine Mehrkomponenten-Flüssigkeit mit den genannten Eigenschaften sein, wie das Anspruch 4 kennzeichnet.

Anspruch 5 und 6 kennzeichnen die Polarität der Hochspannung. Erfahrungsgemäß hat sich herausgestellt, daß eine positive Polarität der Hochspannung an der in die Flüssigkeit getauchten einen Elektrode und die auf Erdpotential gelegte andere Elektrode in Form eines des Siebes etwa, durch das die kleinen Fraktionen fallen, effizienter arbeitet, als hätte die hochliegende Elektrode negative Polarität. Das läßt sich am Modell des Gasdurchbruchs zwischen Anode und Kathode plausibel erläutern.

Das Verfahren läßt sich sehr vielseitig verwenden, wie in den Verwendungsansprüchen 7 und 8 gekennzeichnet ist. Es läßt sich zur Aufbereitung von erzhaltigem Gestein, edelmetallhaltigen Einschlüssen oder zur Freilegung von Mineralien und kristallinen Einschlüssen verwenden (Anspruch 7).

Es läßt sich zur Auftrennung von Metall-Kunststoff-Keramik-Verbindungen oder Kombinationsverbindungen daraus verwenden (Anspruch 8), wie sie beim Recycling von technisch hochwertigen Produkten am Ende ihrer Lebensdauer anfallen.

Zusammenfassend wird nochmal hervorgehoben, daß erst das Einstellen der Parametersätze unter Einhaltung der (eventuell spezifischen) Zeit für das Erreichen der Durchbruchspannungsamplitude, wie sie in Form der beiden Ungleichungen im Anspruch 1 aufgeführt sind, ein Zerkleinern oder Zertrümmern des festkörperartigen Materials über Explosionszerstörung mit minimalem Energieaufwand möglich ist. Die Kompressionszerstörung (Elektrohydraulik) benötigt für die selbe Wirkung einen um mindestens eine Größenordnung höheren Energieaufwand.

Das erfinderische Verfahren wurde oben schon ausführlich erläutert und erklärt. Der vollständig halber soll der Aufbau und die Wirkungsweise einer Anlage, mit der das Verfahren durchgeführt werden kann, kurz beschrieben werden. Zu den schon beschriebenen Figuren der Zeichnung kommen noch zwei weitere über einen prinzipiellen Anlagenaufbau und ein beispielhaftes Reaktionsgefäß hinzu. Die Zeichnung besteht somit aus:

Fig. 1a Modell zur Betrachtung der Entladevorgänge, Fig. 1b Modell zur Betrachtung der Entladevorgänge, Fig. 2 Verlauf der Durchschlagspannung in Abhängigkeit der Verzugszeit,

Fig. 3 Verlauf der Durchschlagspannung im Toleranzband,

Fig. 4 Einteilung der Fig. 2 in das Stromfluß- und Schockwellen-Regime,

Fig. 5 Aufbau der Zertrümmerungsanlage und

Fig. 6 das Reaktionsgefäß im Schnitt.

Zunächst wird Fig. 1a nochmals vom elektrischen Aufbau her kurz erläutert. Sie zeigt das elektrische Schema für die Ermittlung der Durchschlagspannungskurven. Die Quelle 13, die aus Stromrichter und Transformator besteht, speist den Kondensator 10, der sich dann über die Funkenstrecke 14 in die Last 16 entlädt. Die Last 16 besteht aus der elektrisch parallelen Anordnung aus Festkörper und Flüssigkeit.

Eine beispielhafte Zertrümmerungs- und Zerkleinerungsanlage ist in Fig. 5 dargestellt. Das Reaktionsgefäß 1 befindet sich auf einem Gestell 2. In dem Gestell 2 ist das Auffanggefäß 3 für die durch das Sieb 4 gesunkenen Fraktionen 5, die sich am Boden ablagern. Das Sieb 4 liegt an Erdpotential. Das Reaktionsgefäß 1 besteht aus einem schlagzähen Kunststoff, der die Stöße bei den Entladungen abfangen kann. Die angedeuteten Ringe 6 sind mechanische Verstärkungsringe, die darüber hinaus den elektrischen Kriechweg verlängern, so daß eine Kriechentladung entlang des Reaktionsgefäß zumindest sehr erschwert oder gar völlig unterbunden wird. In das Reaktionsgefäß hinein ragt die positiv polarisierte Hochspannungselektrode 7. Sie ist mit dem Energiespeicher 8 verbunden. Der Energiespeicher 8 besteht aus der Kondensatorbatterie 10 und der Spannungsvervielfacherschaltung 9.

Der gesamte Energiespeicher steht ebenfalls auf einem Gestell 11, unter dem sich der Schaltschrank 12, der Stromrichtertransformator 13 und die Schaltstrecke 14 zum Energiespeicher 8 befindet.

Ohne hier auf die technischen Besonderheiten einzugehen, wird Fig. 6 im schematischen Aufbau kurz erläutert. Der Schnitt durch die Wand des Reaktionsgefäßes 1 zeigt die konstruktive Anordnung. Das halbkugelförmige Sieb 4 hat eine Maschen- oder Lochweite derart,

daß Fraktionen mit der gewünschten Korngröße durchfallen oder durchsinken können und sich am Boden des Auffanggefäßes 3 absetzen. Von dort können diese durch die Bodenöffnung zusammen mit der Flüssigkeit abgesaugt werden. Das Sieb 4 bildet die geerdete Elektrode 5. Das Reaktionsgefäß 1 ist mit einem Deckel 20 abgedeckt, durch den hindurch die Hochspannungselektrode 7 in das Gefäßinnere so ragt, daß die Elektrodenspitze den vorgegebenen Abstand zum Sieb 4 einnimmt.

Die Hochspannungselektrode 7 ist über einen langen Weg im Reaktionsgefäß 1 von einem zylindrischen Isolator 21 umgeben, der parasitäre Entladungen in die eingefüllte Prozeßflüssigkeit unterbindet. Die Ausbuchtungen 6 sind die oben erwähnten Ringe zur mechanischen Stütze des Reaktionsgefäßes und zur Verlängerung des elektrischen Kriechwegs.

Anlagen solcher Art und für solche Verwendungen haben die vielfältigsten konstruktiven Ausgestaltungen, insbesondere wenn sie in Aufbereitungsprozesse eingebettet sind.

Bezugszeichenliste

1 Reaktionsgefäß	
2 Gestell	25
3 Auffanggefäß	
4 Sieb, geerdete Elektrode	
5 Fraktion	
6 Ring, Ausbuchtung	
7 Hochspannungselektrode	30
8 Energiespeicher	
9 Spannungsvervielfacherschaltung	
10 Kondensatorbatterie, Kondensator	
11 Gestell	
12 Steuerschrank	35
13 Stromrichtertransformator, Quelle	
14 Schaltstrecke, Funkenstrecke	
15 Schalter	
16 Last	
17 Festkörper	40
18 Flüssigkeit	
19 Bodenöffnung	
20 Deckel	
21 Isolator	
22 Funkenstrecke, Schalter	45

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zerkleinerung und Zertrümmerung von aus nichtmetallischen oder teilweise metallischen Bestandteilen konglomerierten Festkörpern und zur Zerkleinerung homogener nichtmetallischer Festkörper durch schnelle Entladung eines elektrischen Energiespeichers, wobei die Festkörper hierzu in die elektrisch nicht- oder nur schwachleitende, in einem Gefäß gefüllte Prozeßflüssigkeit eingetaucht sind, in die ein System aus Hochspannungselektroden und geerdeten Elektroden in vorgegebenem Abstand ihrer Enden zueinander (in das Gemisch aus Prozeßflüssigkeit und Festkörper) hineinragen, bestehend aus den folgenden Schritten:

— der Abstand 1 der Enden der Hochspannungselektrode und geerdeten Elektrode zueinander wird derart eingestellt, daß die Feldstärke zwischen den Elektrodenenden während des Impulses Werte zwischen $10 \text{ kV/mm} < U/1 < 30 \text{ kV/mm}$

erreicht, die Dimensionierung des Entladekreises LC wird so gehalten, daß der Hochspannungsimpulsanstieg bis zur Durchbruchspannungsamplitude in $t < 200 \text{ nsec}$

erfolgt, wodurch der Spannungszusammenbruch im Innern der eingetauchten Festkörper schneller erfolgt als in der Flüssigkeit und der durch die Spannung und die Kondensatorkapazität bedingte Energieeintrag der Entladung bezogen auf den Entladeweg 1 sich in den Schranken

$12 \text{ J/m} < 1/2 \cdot CU^2/1 < 40 \text{ J/m}$

bewegt, so daß die Energieeinkopplung entlang des Entladepfades im Festkörper durch Joule'sche Wärme zu einer von dort ausgehenden Schockwelle und dann an der Grenzschicht zur Flüssigkeit teilreflektierten Schockwelle im Festkörper führt, die den Festkörper von innen her sprengt (explodiert) und in Fraktionen zerlegt,

— über die zusätzlichen Entladungen in der Flüssigkeit ebenfalls Schockwellen erzeugt werden, die zusammen mit den an der Gefäßwandung reflektierten Schockwellen zusätzlich kompressiv (elektrohydraulisch) auf die in die Flüssigkeit getauchten Festkörper einwirken,

— die Kondensatorbank nach der erneuten Aufladung nach einem vorgegebenen Zeitabstand wieder über die Elektroden entladen und dieser Vorgang wiederholt wird, bis die Festkörper in immer kleinere Fraktionen zerlegt, die gewünschte Korngröße erreicht ist und die Fraktionen durch ein Sieb im Reaktionsgefäß fallen oder über eine Fluid-Klassifizierung entnommen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Flüssigkeit Leitungswasser und/oder entmineralisiertes Wasser verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Flüssigkeit eine hochspannungsisolierende Flüssigkeit verwendet wird, deren Durchbruchspannungskurve durchweg höher verläuft als die der in ihr getauchten, zu prozessierenden Festkörper.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Flüssigkeit ein Wasser-Glykol-Gemisch oder ein Wasser-Alkohol-Gemisch oder ein Mehrkomponenten-Gemisch daraus ist.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarität der Hochspannung positiv eingestellt wird.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarität der Hochspannung negativ eingestellt wird.

7. Verwendung des Verfahrens nach den Ansprüchen 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Freilegung von Einschlüssen wie Edelmetalle, Edelmetalle oder Mineralien in Naturgestein, oder daß es zur Zerlegung von kristallin heterogen aufgebauten Körpern in seine Bestandteile, oder daß es zur Auftrennung von Metall-Keramik-Verbundstoffen verwendet wird.

8. Verwendung des Verfahrens nach den Ansprüchen 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Auftrennung von Metall-Kunststoffverbindungen oder zur Auftrennung von Kunststoff-Keramik-

Verbindungen oder zur Auftrennung eines Verbundes aus Metall, Keramik und Kunststoff verwendet wird.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1a

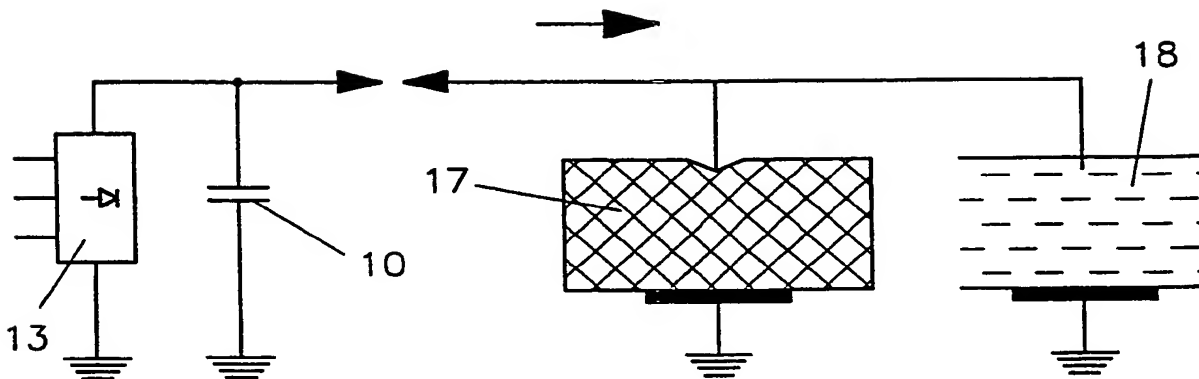


Fig. 1b

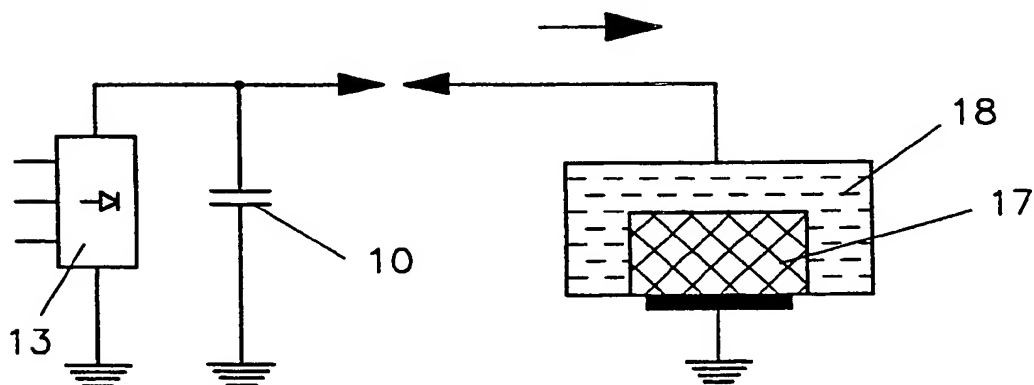


Fig. 2

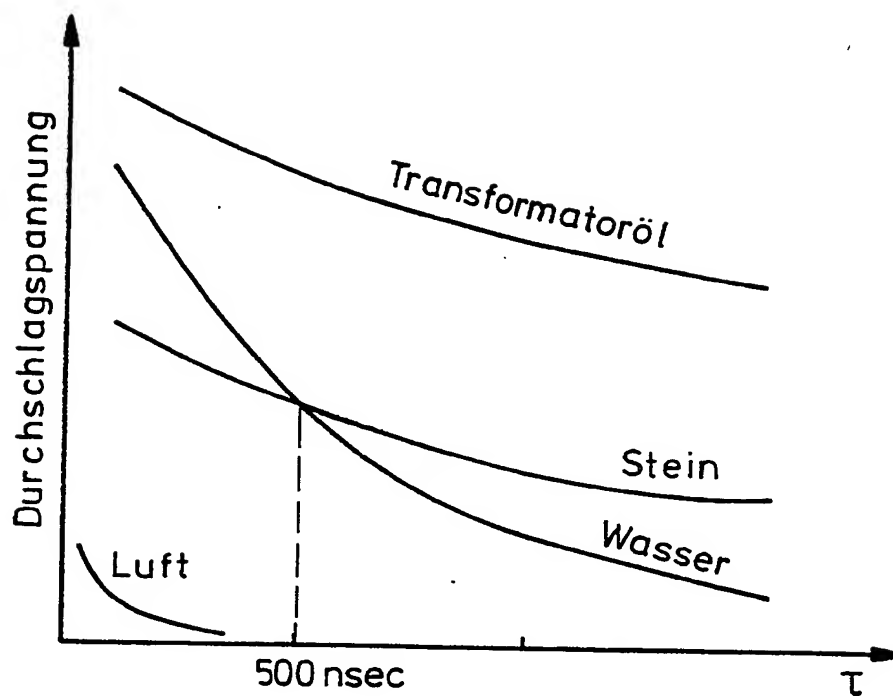


Fig. 3

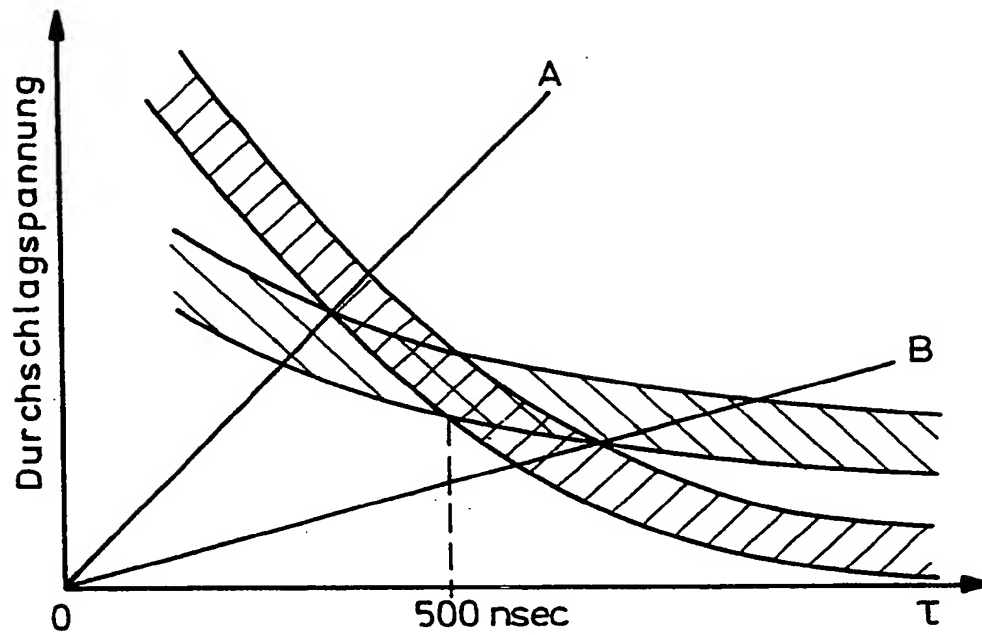
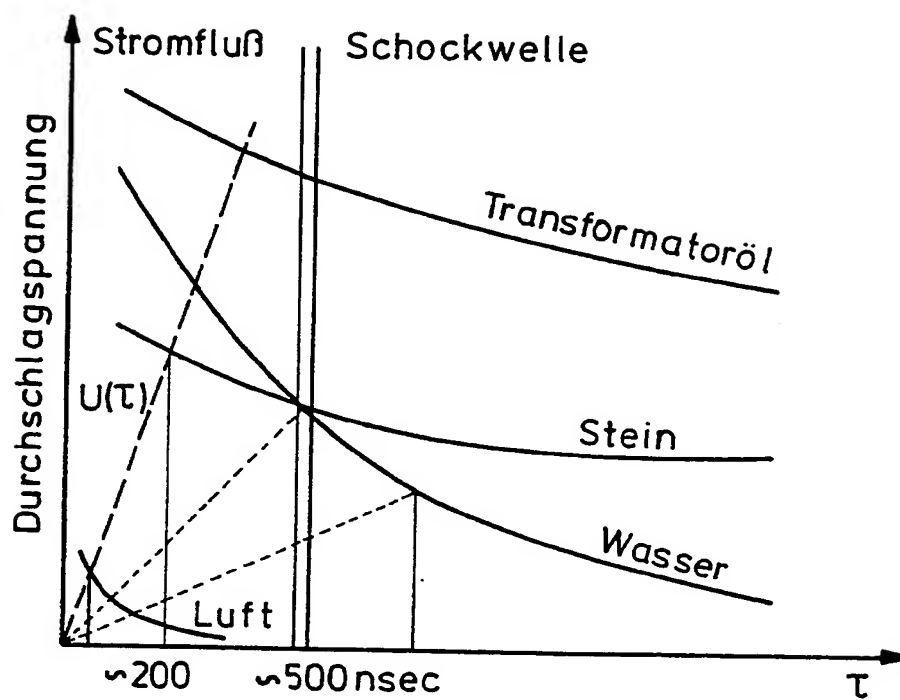


Fig. 4



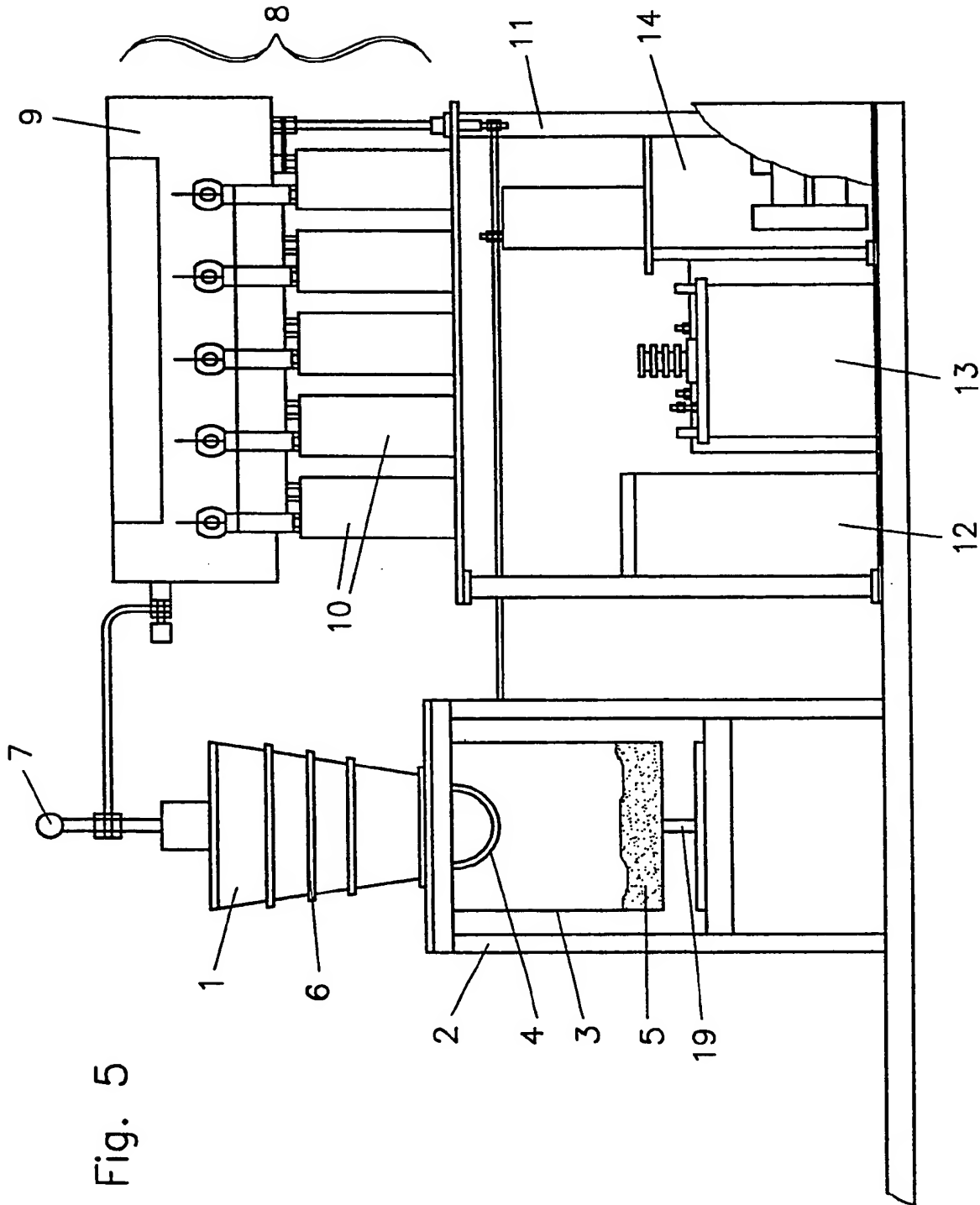


Fig. 6

